

Науковий напрям

«Інформатика, обчислювальна техніка та автоматизація»

**СИСТЕМА ПОТОЧНОГО КОНТРОЛЮ СТАНУ ТЕХНІЧНОГО
ОБ’ЄКТА ПО СПЕКТРАЛЬНІЙ ЩІЛЬНОСТІ ВИПАДКОВОГО ПРОЦЕСУ**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1.ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД	4
1.1. Статистичні характеристики випадкового процесу	4
1.2. Постановка задачі	7
1.3. Математична постановка задачі.....	7
2.РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ.....	8
2.1. Вибір методу розв’язання задачі.....	8
2.2. Алгоритм розв’язання задачі.....	9
2.3. Хід розв’язання задачі	9
3.ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....	12
3.1. Приклад 1.....	12
3.2. Інструкції для користувача програмою 1	14
3.3. Контрольний приклад 1	14
3.4. Приклад 2.....	15
3.5. Інструкція для користувача програмою 2.....	17
3.6. Контрольний приклад 2	17
ВИСНОВКИ	19
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	20
ДОДАТОК А	21
ДОДАТОК Б.....	21
ДОДАТОК В.....	25
ДОДАТОК Г	26

ВСТУП

Відомий широкий клас об'єктів, для яких вихідні процеси носять випадковий характер. Зокрема багато механізмів під час роботи створюють акустичні або вібраційні випадкові процеси. Випадковий характер цих процесів потребує для їхнього описання використання статистичних характеристик таких, як математичне сподівання, автокореляційна функція (АКФ), дисперсія, спектральна щільність та ін.

Оскільки стан об'єкта змінюється в часі, то відповідно змінюються в часі і статистичні характеристики контрольованого випадкового процесу.

Тому розробка нових методів технічної діагностики об'єктів із застосуванням спектральної щільності при її зміні в часі являються актуальними.

Основною ідеєю роботи є розробка методу, який дозволяє переходити від двовимірного графіка до числа.

Теоретичне значення роботи полягає в можливості кількісно оцінити поточний стан технічного об'єкта, якщо змінюється графік поточної спектральної щільності випадкового процесу на його виході, або цей графік просто пересувається по осі абсцис.

Практичне значення — з'являється можливість кількісно оцінити зміну графіків двовимірних процесів, досліджувати статистичні зв'язки цих графіків між собою або з іншими параметрами.

Отримані наукові результати дозволяють розширити коло задач технічної діагностики, які можна розв'язувати.

1. ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД

1.1. Статистичні характеристики випадкового процесу

При науковому дослідженні різних фізичних і технічних завдань часто доводиться зустрічатися з особливим типом процесів, які прийнято називати випадковими. Цілком очевидно, що в природі немає жодного фізичного явища, в якому не були би присутні в тій чи іншій мірі елементи випадковості. Як би точно і детально не були фіксовані умови дослідження, неможливо досягти того, щоб при повторенні результати повністю і в точності збігалися. Випадкові відхилення неминуче супроводжують будь яке закономірне явище. Відомий широкий клас об'єктів, для яких вихідні процеси носять випадковий характер. Зокрема багато механізмів під час роботи створюють акустичні або вібраційні випадкові процеси. Для оцінки їхніх поточних використовують статистичні характеристики цих процесів.

Для ергодичного стаціонарного випадкового процесу $x(t)$ поточні оцінки статистичних характеристик, знайдених на достатньо великому інтервалі часу t від $t_0 - T$ до t_0 , мають вид [1]:

Математичне сподівання:

$$m_x^* = \frac{1}{T} \int_{t_0-T}^{t_0} x(t) dt \quad (1.1)$$

Дисперсія:

$$D_x^* = \frac{1}{T} \int_{t_0-T}^{t_0} (x(t) - m_x^*)^2 dt \quad (1.2)$$

Автокореляційна функція:

$$R_{xx}^* = \frac{1}{T - \tau} \int_{t_0-T}^{t_0} (x(t) - m_x^*)(x(t - \tau) - m_x^*) dt \quad (1.3)$$

Спектральна щільність:

$$G_{xx}^* = \frac{1}{T} \int_{t_0-T}^{t_0} R_{xx}^*(\tau) \cos \omega \tau d\tau \quad (1.4)$$

де τ - зсув у часі;

ω - кругова частота;

T - інтервал часу, за який знаходяться оцінки статистичних характеристик.

Для стаціонарних в широкому розумінні процесів математичне сподівання та дисперсія постійні.

Віброакустичні сигнали можуть змінювати в часі свою потужність і ці зміни не обов'язково можуть бути пов'язані зі зміною механічних напружень в контрольованому механізмі. Тому необхідно обчислювати нормовану за потужністю спектральну щільність використовуюваного випадкового процесу. Для цього, відповідно, потрібна, так звана, нормована АКФ. Її оцінка для $x(t)$ має вигляд

$$r_{xx}^*(\tau) = \frac{R_{xx}^*(\tau)}{D_x^*} \quad (1.5)$$

Нормована спектральна щільність $S_{xx}^*(\omega)$ розраховується по формулі:

$$S_{xx}^*(\omega) = \frac{G_{xx}^*(\omega)}{D_x^*} \quad (1.6)$$

Статистичні характеристики випадкових процесів розраховуються для поточного контролю технічного об'єкту. На рис 1.1 приведені нормовані АКФ шуму редуктора справного і несправного токарних станків ДИП-300.[2]

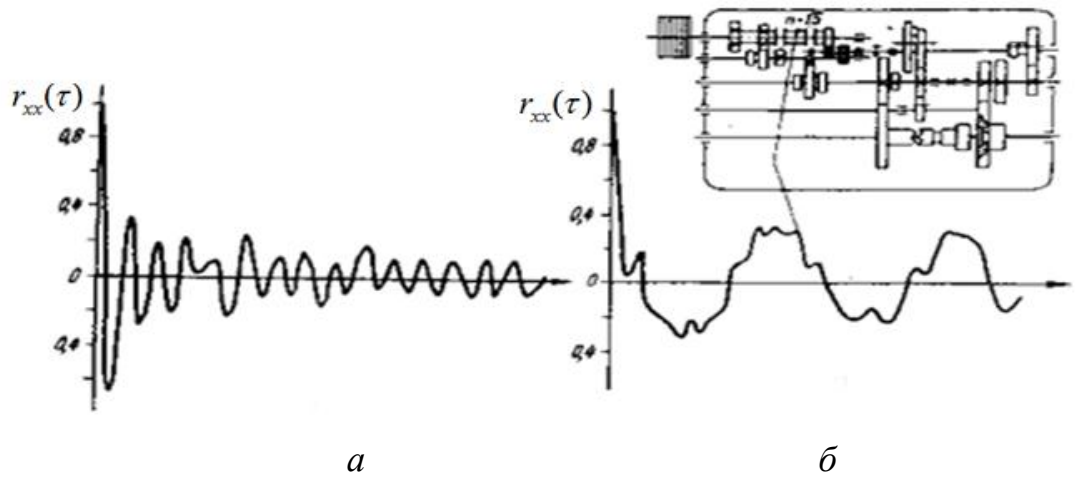


Рисунок 1.1 – Нормовані АКФ справного та несправного редуктора токарних станків ДІП-300

В нормованій АКФ на рис.1.1 (б) з'явилась періодична складова з відносно великою амплітудою. Співставлення швидкостей обертання різних валів редуктора із частотою коливання $r_{xx}^*(\tau)$ дозволило уточнити місце дефекту. Виявилось, що виник великий зазор в одному із підшипників валу реверса.

Але в загальному випадку періодична складова не завжди може бути виділена, особливо коли амплітуда коливання $r_{xx}^*(\tau)$ ще мала.

Огляд статистичних методів, які застосовуються в технічній діагностиці, свідчить про те, що найбільш важливими являються АКФ та її перетворення Фур'є – спектральна щільність.

Оскільки стан об'єкта змінюється в часі, то відповідно змінюються в часі і статистичні характеристики контрольованого випадкового процесу. Зокрема спектральна щільність $S_x^*(\omega, t)$ залежить не тільки від частоти ω але і від часу t . Це ускладнює використання спектральної щільності (як і інших двовимірних статистичних характеристик) для кількісної оцінки поточного стану контрольованого об'єкта.

1.2. Постановка задачі

Розробити метод кількісної оцінки поточного стану контрольованого об'єкту із застосуванням спектральної щільності випадкового процесу на його виході.

Реалізувати комп'ютерне моделювання для демонстрації застосування запропонованого методу при розв'язанні конкретних задач.

1.3. Математична постановка задачі

Дано випадкових процес $x(t)$ на виході об'єкту, що контролюється. Вважається що процес квазістаціонарний, ергодичний.

По реалізації випадкового процесу на поточному інтервалі часу $(t-T, t)$ обчислюється автокореляційна функція (АКФ), а по ній спектральна щільність $S_x^*(\omega, t)$, де ω – кругова частота; t – поточний час.

Величина поточного інтервалу T вибирається в залежності від допустимої похибки при визначенні АКФ.

Необхідно по зміні графіка спектральної щільності і його положення на осі абсцис кількісно оцінити поточний стан об'єкта.

2. РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ

2.1. Вибір методу розв'язання задачі

Випадковий характер процесу, який використовується для розв'язання задачі, визначає необхідність застосування статистичних методів і статистичних характеристик. Зокрема використовується спектральна щільність випадкового процесу, яка отримана на поточному інтервалі часу.

Щоб використати її для розв'язання задачі необхідно поставити у відповідність поточному графіку $S_x^*(\omega, t)$ число. Для цього пропонується використати розроблену в [3] інтегральну оцінку, яка розраховується по формулі:

$$U_{\varepsilon}^*(t) = \int_{S_x^*(\omega, t) > \lambda_x^2} \frac{1}{|\omega|} \log \frac{S_x^*(\omega, t)}{\lambda_x^2} d\omega, \quad (2.1)$$

де $S_x^*(\omega, t)$ – спектральна щільність процесу;

λ_x - визначає ту частину графіка спектральної щільності, яка виходить за межі полоси частот, що враховуються при аналізі.

Оцінка $U_{\varepsilon}^*(t)$ являється інформаційною. Її розмірність БІТ, ДІТ або НІТ, в залежності від основи логарифму.

Крім $U_{\varepsilon}^*(t)$ оцінити поточний стан об'єкту можна по значенню характерної частоти ν [3]:

$$\nu(t) = \frac{H_{\varepsilon}^*(t)}{U_{\varepsilon}^*(t)}, \quad (2.2)$$

де $H_{\varepsilon}^*(t)$ - ε -ентропія [4], яка розраховується по формулі (2.3).

$$H_{\varepsilon}^*(t) = \int_{S_x^*(\omega, t) > \lambda_x^2} \log \frac{S_x^*(\omega, t)}{\lambda_x^2} d\omega. \quad (2.3)$$

Інтегральна інформаційна оцінка $U_{\varepsilon}^*(t)$ чутлива до зміни виду графіка $S_x^*(\omega, t)$, а також до його положення на осі абсцис.

По значенням $U_{\varepsilon}^*(t)$ і $\nu(t)$ можна кількісно оцінити зміну графіку $S_x^*(\omega, t)$, а значить і поточний стан об'єкта.

2.2. Алгоритм розв'язання задачі

Пропонується наступний алгоритм:

- 1) Ввести значення константи λ .
- 2) Ввести значення ординат поточного графіка спектральної щільності $S_x^*(\omega, t)$.
- 3) Обчислити $U_{\varepsilon}^*(t)$, $H_{\varepsilon}^*(t)$, $\nu(t)$.
- 4) Пункт 3 повторювати в міру отримання нових графіків $S_x^*(\omega, t)$.
- 5) Аналізувати зміну значень $U_{\varepsilon}^*(t)$ і $\nu(t)$.

2.3. Хід розв'язання задачі

Комп'ютерна реалізація системи для поточного контролю стану технічного об'єкта припускає дискретне в часі представлення випадкового процесу $x(t)$.

Нехай дано значення $x(i\Delta t)$, де $i=0, 1, 2, \dots, N-1$; Δt – крок зміни часу.

Припускається, що при розрахунку статистичних характеристик для $x(t)$ усереднення буде проводитись по реалізації довжиною T , якій відповідає кількість $N=T/\Delta t$ ординат.

Однак при обчисленні АКФ зсув у часі $m = \tau / \Delta t$ буде змінюватися від 0 до $N/2$. Тому потрібна реалізація випадкового процесу довжиною N дискретних значень.

Представимо вирази (2.1), (2.2), (2.3) в дискретному вигляді. Попередньо зазначимо: $x(i\Delta t)=x_i$; $x((i+m)\Delta t)=x_{i+m}$.

Тоді

$$m_x^* = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \quad (2.4)$$

$$D_x^* = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - x_x^*)^2 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x_i^2 - \frac{1}{N} \left(\sum_{i=0}^{N-1} x_i \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

$$R_{xx}^*(m) = \frac{1}{N-1} \sum_{i=0}^{N-1} x_i^0 x_{i+m}^0 = \frac{1}{N-1} \left[\sum_{i=0}^{N-1} x_i x_{i+m} - \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \sum_{i=0}^{N-1} x_{i+m} \right] \quad (2.6)$$

Обчислення оцінки нормованої спектральної щільності (1.6) зводиться до перетворення Фур'є оцінки АКФ (1.5) на скінченному інтервалі з N ординат. Дискретне значення оцінки $r_{xx}^*[\tau]$ (1.5) в цьому випадку має вигляд

$$r_{xx}^*[i] = \frac{A_0}{2} + \sum_{k=1}^{Q-1} A_k \sin\left(\frac{\pi}{Q} ik + \varphi_k\right) + \frac{A_Q}{2} \cos \pi i \quad (2.7)$$

де $Q=N/2$;

A_k , φ_k ($k=0,1,\dots,Q$) – значення модуля та фази k -ї гармоніки. Вони знаходяться по формулам [5] :

$$a_k = \frac{1}{Q} \sum_{i=0}^{N-1} r_{xx}[i] \cos\left(\frac{\pi}{Q} ik\right) \quad (2.8)$$

$$b_k = \frac{1}{Q} \sum_{i=0}^{N-1} r_{xx}[i] \sin\left(\frac{\pi}{Q} ik\right) \quad (2.9)$$

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} \quad (2.10)$$

$$\varphi_k = \begin{cases} \arccos\left(b_k/A_k\right) & \text{якщо } a_k \geq 0 \\ -\arccos\left(b_k/A_k\right) & \text{якщо } a_k < 0 \end{cases} \quad (2.11)$$

Модулі A_k ($k=0,1,2,\dots,Q$) знаходяться по поточним значенням АКФ і тому являються функціями від часу. Вони є оцінками поточної нормованої спектральної щільності. Їх значення використовуються для отримання оцінок (2.1), (2.2) і (2.3). Обчислення інтегралів (2.1) і (2.2) здійснюється методом трапецій.

$$U_{\varepsilon}^*(t) = \sum_{k=0}^{Q-1} \frac{1}{2k+1} \left(\log \frac{A_k(t)}{\lambda^2} + \log \frac{A_{k+1}(t)}{\lambda^2} \right) \quad (2.12)$$

$$H_{\varepsilon}^*(t) = \sum_{k=0}^{Q-1} \left(\log \frac{A_k(t)}{\lambda^2} + \log \frac{A_{k+1}(t)}{\lambda^2} \right) \quad (2.13)$$

$$\nu(t) = H_{\varepsilon}^*(t)/U_{\varepsilon}^*(t) \quad (2.14)$$

Таким чином, для розв'язання поставленої задачі потрібно по реалізації випадкового процесу $x(t)$ обчислити оцінку характерної частоти $\nu(t)$ (2.14) і по зміни її значень контролювати поточний стан технічного об'єкта.

3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

3.1. Приклад 1

Розглядається об'єкт, в якому подібно до редуктора (рис. 1.1), у разі виникнення несправності з'являється періодична складова АКФ процесу, що контролюється. Нормована АКФ у цьому випадку має вигляд

$$r_{xx}^*(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau \quad (3.1)$$

Оцінка нормованої спектральної щільності для (2.1) має вигляд [1]:

$$S_x^*(\omega, t) = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right] \quad (3.2)$$

Вид графіка $S_x(\omega, t)$ залежить від співвідношення параметрів α і β , тобто від того, що має перевагу в кореляційній функції: спадання по закону $e^{-\alpha|\tau|}$ чи коливання по закону $\cos \beta\tau$. При малих α переважають коливання, а при великих – спадання. В першому випадку випадкова функція близька до періодичних коливань із частотою β із випадковими амплітудою і фазою. Відповідно у спектрі випадкової функції переважають частоти, які близькі до частоти β . У другому випадку спектральна характеристика випадкової функції більш рівномірна, перевага тих чи інших частот не спостерігається. На рис. 3.1 приведені графіки $S_x(\omega, t)$ для випадків:

- 1) $\beta=2, \alpha=1$ (крива 1);
- 2) $\beta=2, \alpha=3$ (крива 2).

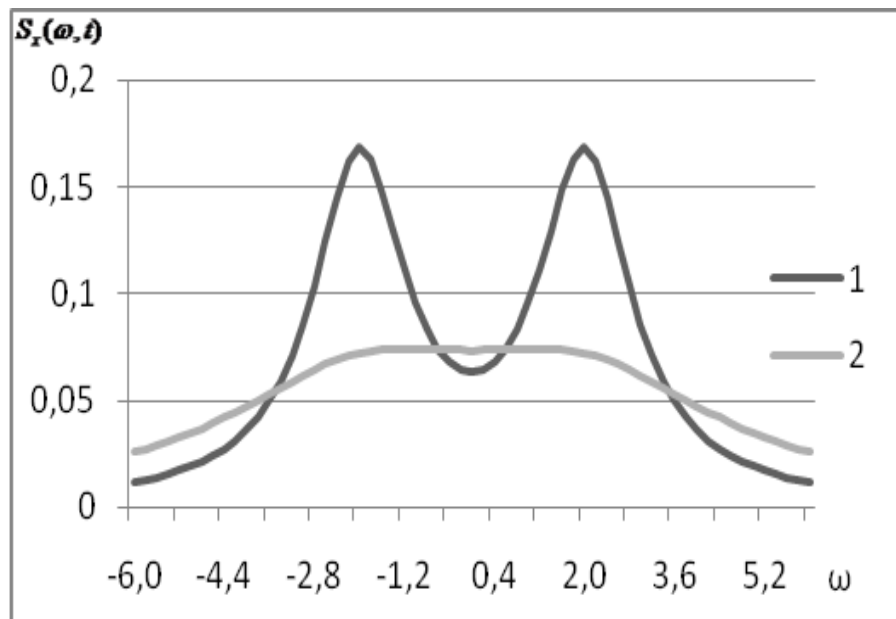


Рисунок 3.1 – Графіки спектральних щільностей (3)

При $\alpha=1$ спектр має яскраво виражений максимум в області частот $\pm\beta$. При $\alpha=3$ $S_x^*(\omega, t)$ в значному діапазоні частот залишається майже постійною. Очевидно, що в цьому випадку немає можливості візуально виявити появу періодичної складової АКФ і кількісно оцінити подальшу зміну стану об'єкта, що супроводжується відповідною зміною частоти β .

Для моделювання роботи системи поточного контролю стану цього об'єкта із застосуванням інтегральної інформаційної оцінки (2.1) розроблено алгоритм і комп'ютерну програму. При описанні алгоритму використовувались символічні імена, приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. – Символічні імена. Приклад 1.

Позначення в формулі	Ідентифікатор	Пояснення
α	alfa	Параметр АКФ
β	beta	Частота
ω	omega	Кругова частота
ν	nu	Характерна частота
λ	lambda	Постійний параметр, який визначає

		невраховувану частину графіка спектральної щільності
$S_x(\omega, t)$	S	Спектральна щільність
$r_{xx}(\tau)$	An	АКФ
$U_\varepsilon(t)$	Un	Інтегральна інформаційна оцінка
$H_\varepsilon(t)$	Hn	ε -ентропія

3.2. Інструкції для користувача програмою 1

Програма знаходиться в файлі induc2.exe.

Її обсяг 1,14 Кбайт.

Оригінальний текст на мові C++ (файл induc2.cpp) знаходиться у додатку А.

Результати заносяться в файл nju.rez.

Програма не критична до типу мікропроцесора і об'єму оперативної пам'яті.

Працює під управлінням DOS.

Результати роботи програми виводяться в файл NJU.REZ.

3.3. Контрольний приклад 1

Вхідні дані: $\alpha=3$, : β змінюється від 0 до 4 з кроком 0.1.

Отримані результати приведені у вигляді графіка на рис. 3.2 та в додатку В.

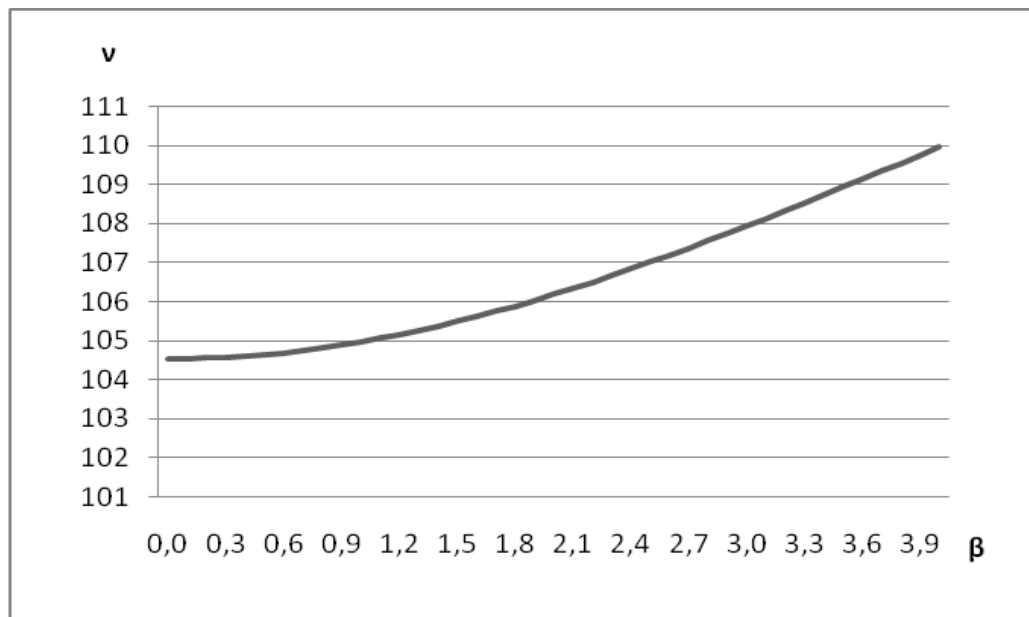


Рисунок 3.2 – Графік характерної частоти до прикладу 1

З графіку чітко видно, що при відсутності коливань ($\beta=0$) $\nu=104,5$. Поява періодичних коливань викликає збільшення ν із зростанням β . Тобто використання інтегральної інформаційної оцінки (2.1) і характерної частоти (2.2) дозволяє виявити появу періодичної складової в АКФ і оцінити її частоту.

3.4. Приклад 2

Розглядається приклад виявлення залежності шуму електродвигуна від величини зазору в його радіальних підшипниках. Для значень зазору 0.01мм, 0.03мм, 0.06мм в [2] приведені відповідні АКФ (рис.3.3).

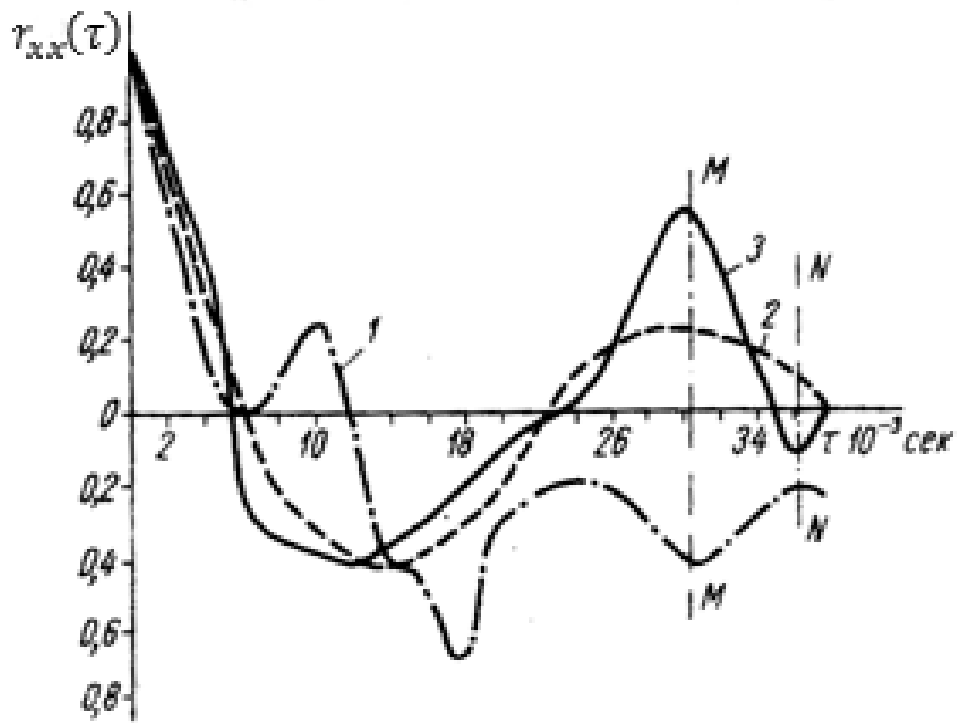


Рисунок 3.3 - Кореляційні функції розподілу шуму електродвигуна при різних величинах радіального зазору в його підшипниках: 1- зазор 0.01, 2 – зазор 0.03, 3 – зазор 0.06 мм

На рис.3.4 зображені графіки спектральних щільностей для зазорів 0.01 та 0.06 мм. Між ними спостерігається яскраво виражена різниця, але її важко описати кількісно.

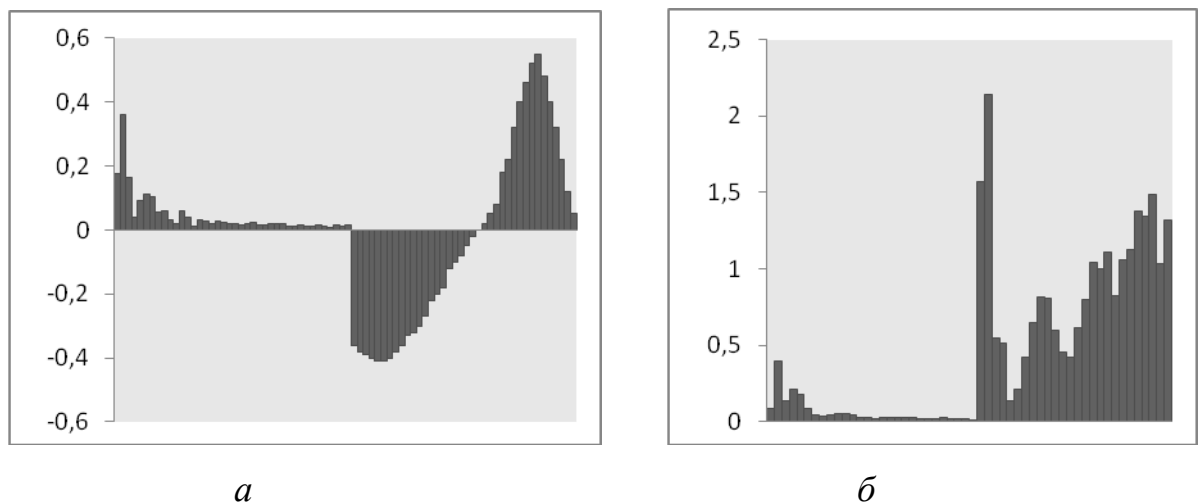


Рисунок 4.4 - Спектральна щільність 1 (а), 3(б)

Для обчислення характеристик (2.1), (2.2), (2.3) розроблена комп'ютерна програма. Символічні імена приведені в табл. 3.2

Таблиця 3.2. – Символічні імена, використані в програмі до прикладу 2

Позначення в формулі	Ідентифікатор	Пояснення
ν	nu	Характерна частота
λ	lambda	Постійний параметр, який визначає не досліджувану частину графіка спектральної щільності
$S_x(\omega, t)$	S1[L1], S2[L2], S3[L3]	Спектральні щільності
$r_{xx}(\tau)$	cor1[N1], cor2[N2], cor3[N3]	АКФ
$U_{\varepsilon}(t)$	Un	Інтегральна інформаційна оцінка
$H_{\varepsilon}(t)$	Hn	ε -ентропія
fur()		Перетворення Фур'є
obfur()		Обернене перетворення Фур'є
inform()		Функція для обчислення характерної частоти

3.5. Інструкція для користувача програмою 2

Програма знаходиться в файлі zazor2.exe.

Її обсяг 36,8 Кбайт.

Вихідний текст на мові C++ (файл zazor2.cpp) знаходиться у додатку Б.

3.6. Контрольний приклад 2

Для тестування програми використовуються значення автокореляційних функцій із файлів cor1.dan, cor2.dan, cor3.dan (Додаток Г).

Результати заносяться в файл spectr.rez.

В результаті роботи програми були обчислені характеристики (2.1), (2.2), (2.3). Результати приведені у вигляді табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Обчислювані оцінки. Приклад 2

Зазор, мм	U_{ε}	H_{ε}	ν
0.01	9.852380	174.161109	17.677060
0.03	9.095690	123.418669	13.568918
0.06	9.220998	123.896729	13.436369

Аналіз показує, що із збільшенням зазору абсолютна характерна частота ν зменшується. Залежність ν від зазору нелінійна.

Наведений приклад свідчить про те, що інтегральна інформаційна оцінка (2.1) і характерної частоти (2.2) можуть бути використані для кількісної оцінки розходження між графіками спектральних щільностей.

Таким чином можна зробити висновок, що використання інтегральної інформаційної оцінки може бути використано для розв'язання задач технічної діагностики, а саме виявлення періодичної складової АКФ та кількісної оцінки розходження графіків спектральної щільності.

ВИСНОВКИ

В ході виконання роботи розроблено метод для кількісної оцінки поточного стану контрольованого об'єкту із застосуванням спектральної щільності випадкового процесу на його виході.

Реалізоване комп'ютерне моделювання для демонстрації застосування запропонованого методу при розв'язанні конкретних задач.

Результати свідчать про те, що запропонований метод може бути використаний для контролю поточного стану технічного об'єкту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вентцель Е.С. Теория вероятности, Изд-во «КноРус», М., 2010, 664с.
2. Павлов Б.В. Кибернетические методы технического диагноза, Изд-во «Машиностроение», М., 1966, 150с.
3. Авраменко В.В., Ильенко Т.Н. Использование интегральной спектральной оценки для диагностики и косвенного котроля // Вест.СумГУ, 1996г. - №2(6) , с.94-98
4. Петров В.В., Усков А.С. Информационная теория синтеза оптимальных систем контроля и управления. – М.: Энергия, 1975г. –с.38-41.
5. Хемминг Р. Численные методы. – М.:Энергия, 1980. – 380 с.

ДОДАТОК А

```
INDUC2.CPP
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
#include<stdlib.h>
#define N 50
float inform(float An[], float lambda_n);
FILE*p1,*p2;
float omega,beta;

void main()
{
    int i,k;
    float nu[N],lambda=0.0001;
    float S[N],alfa=1,beta_min=0.0,d_beta=0.1, beta_max=4;
    p1=fopen("spectr1.rez","w");//відкриття файлу для запису значень спектр. щільності
    p2=fopen("nju.rez","w");//відкриття файлу для розрахованих оцінок
    clrscr();
    for(i=0,beta=beta_min;beta<beta_max;i++,beta+=d_beta)
    {
        fprintf(p1,"beta[%i]=%f\n",i,beta);

        for(k=0,omega=0;omega<3;k++,omega+=0.1)
        {
            S[k]=((alfa/(alfa*alfa+pow((omega+beta),2)))+(alfa/(alfa*alfa+pow((omega-
            beta),2))))/(2*M_PI); //розрахунок спектр. щільності
            printf("S[%i]=%f\n",k,S[k]);
            fprintf(p1,"S[%i]=%f\n",k,S[k]);
        }
        nu[i]=inform(S,lambda);
    }
    //функція для розрахунку основних характеристик
    float inform(float An[], float lambda_n)
    {
        int k;
        float Un=0;
        float Hn=0,nju;
        for(k=1;k<N-2;k++)
        {
            if(An[k]>lambda_n)
            {
                Un+=(log10(An[k]/lambda_n)+log10(An[k+1]/lambda_n))/(2.*k+1);
                Hn+=(log10(An[k]/lambda_n)+log10(An[k+1]/lambda_n));
            }
        }
        nju=Hn/Un;
        fprintf(p2,"beta=%f Un=%f Hn=%f nju=%f\n",beta,Un, Hn,nju);

        return nju;}
}
```

ДОДАТОК Б

```
ZAZOR.CPP
#include<stdio.h>
#include<math.h>
#include<conio.h>
```

```

#include<stdlib.h>
#define N1 78
#define L1 40
#define Q1 39
#define N2 54
#define L2 28
#define Q2 27
#define N3 54
#define L3 28
#define Q3 27

void fur(double x[],int N,int L,int Q,double A[],double fi[]);
void obrfur(double x[],int N,int L,int Q,double A[],double fi[]);

double inform(double An[],int Q, double lambda_n);
FILE*p,*pcor1,*pcor2,*pcor3;
void main()
{
double cor1[N1],cor2[N2],cor3[N3],lambda=0.0001;
double cor1p[N1],cor2p[N2],cor3p[N3];
double S1[L1],fi1[L1],S2[L2],fi2[L2],S3[L3],fi3[L3];
clrscr();
puts("zazor2.cpp is working now");
p=fopen("spectr.rez","w"); //відкриття файлу для запису результатів
pcor1=fopen("cor1.dan","r"); //відкриття файлу для зі значеннями АКФ1
if(!pcor1)
{
printf("File cor1.dan is not opened");
exit(1);
}
pcor2=fopen("cor2.dan","r"); //відкриття файлу для зі значеннями АКФ2
if(!pcor2)
{
printf("File cor2.dan is not opened");
exit(1);
}
pcor3=fopen("cor3.dan","r"); //відкриття файлу для зі значеннями АКФ3
if(!pcor3)
{
printf("File cor3.dan is not opened");
exit(1);
}
for(int i=0;i<N1;i++)
{
fscanf(pcor1,"%lf",&cor1[i]);
fprintf(p,"cor1[%i]=%lf\n",i,cor1[i]);
}

for(i=0;i<N2;i++)
{
fscanf(pcor2,"%lf",&cor2[i]);
fprintf(p,"cor2[%i]=%lf\n",i,cor2[i]);
}
for( i=0;i<N3;i++)
{
fscanf(pcor3,"%lf",&cor3[i]);
fprintf(p,"cor3[%i]=%lf\n",i,cor3[i]);
}

fur(cor1,N1,L1,Q1,S1,fi1);

```

```

    obrfur(cor1p,N1,L1,Q1,S1,fi1);
    for( i=0;i<N1;i++)
    fprintf(p,"cor1p[%i]=%lf\n",i,cor1p[i]);
    fur(cor2,N2,L2,Q2,S2,fi2);
    obrfur(cor2p,N2,L2,Q2,S2,fi2);
    for( i=0;i<N2;i++)
    fprintf(p,"cor2p[%i]=%lf\n",i,cor2p[i]);
    fur(cor3,N3,L3,Q3,S3,fi3);
    obrfur(cor3p,N3,L3,Q3,S3,fi3);
    for( i=0;i<N3;i++)
    fprintf(p,"cor3p[%i]=%lf\n",i,cor3p[i]);
    inform(S1,Q1,lambda);
    inform(S2,Q2,lambda);
    inform(S3,Q3,lambda);
}

//Функція перетворення Фур'є
void fur(double x[],int N,int L,int Q,double A[],double fi[])
{
    double a[50],b[50],s1,s2;
    int i,k;
    for(k=0;k<L;k++)
    {
        s1=0;
        s2=0;
        for(i=0;i<N;i++)
        {
            s1+=x[i]*cos(M_PI*i*k/Q);
            s2+=x[i]*sin(M_PI*i*k/Q);
        }
        a[k]=s1/Q;
        b[k]=s2/Q;
        A[k]=sqrt(pow(a[k],2)+pow(b[k],2));
        if (a[k]>=0)
            fi[k]=acos(b[k]/A[k]);
        else
            fi[k]=-acos(b[k]/A[k]);
    } /*  «п for */
    return;
}

//Функція для обернене перетворення Фур'є
void obrfur(double x[],int N,int L,int Q,double A[],double fi[])
{
    double s;
    int i,k;
    for(i=0;i<N;i++)
    {
        s=0;
        for(k=1;k<Q;k++)
            s+=A[k]*sin(M_PI*i*k/Q+fi[k]);
        x[i]=A[0]/2+s+A[Q]*cos(M_PI*i)/2;
    }
    return;
}

//Функція для обчислення характеристик
double inform(double An[], int Q,double lambda_n)
{
    int k;
    double Un=0;
    double Hn=0,nju;

```

```

    for(k=1;k<Q-2;k++)
    {
        if(An[k]>lambda_n)
        {
            //Un+=(double)(1./k)*log10(An[k]/lambda_n);
            Un+=(log10(An[k]/lambda_n)+log10(An[k+1]/lambda_n))/(2.*k+1);
            Hn+=(log10(An[k]/lambda_n)+log10(An[k+1]/lambda_n));
        }
    }
    nju=Hn/Un;
    fprintf(p," Un=%f Hn=%f nju=%f\n",Un, Hn,nju);
    printf(" Un=%f Hn=%f nju=%f\n",Un, Hn,nju);

    return nju;
}

```


ДОДАТОК В

beta=0.000000	Un=21.809671	Hn=2279.891602	nju=104.535805
beta=0.100000	Un=21.808699	Hn=2279.886475	nju=104.540237
beta=0.200000	Un=21.805792	Hn=2279.871338	nju=104.553474
beta=0.300000	Un=21.800949	Hn=2279.845947	nju=104.575539
beta=0.400000	Un=21.794178	Hn=2279.809326	nju=104.606346
beta=0.500000	Un=21.785490	Hn=2279.761230	nju=104.645859
beta=0.600000	Un=21.774899	Hn=2279.700684	nju=104.693977
beta=0.700000	Un=21.762419	Hn=2279.626953	nju=104.750626
beta=0.800000	Un=21.748072	Hn=2279.538574	nju=104.815666
beta=0.900000	Un=21.731882	Hn=2279.434814	nju=104.888977
beta=1.000000	Un=21.713879	Hn=2279.313965	nju=104.970375
beta=1.100000	Un=21.694092	Hn=2279.175049	nju=105.059715
beta=1.200000	Un=21.672558	Hn=2279.016846	nju=105.156799
beta=1.300000	Un=21.649315	Hn=2278.838135	nju=105.261444
beta=1.400000	Un=21.624413	Hn=2278.637451	nju=105.373383
beta=1.500000	Un=21.597897	Hn=2278.414062	nju=105.492409
beta=1.600000	Un=21.569818	Hn=2278.166992	nju=105.618271
beta=1.700000	Un=21.540232	Hn=2277.894775	nju=105.750710
beta=1.800000	Un=21.509203	Hn=2277.597168	nju=105.889427
beta=1.900000	Un=21.476788	Hn=2277.273682	nju=106.034187
beta=2.000000	Un=21.443052	Hn=2276.923340	nju=106.184669
beta=2.100000	Un=21.408066	Hn=2276.546387	nju=106.340591
beta=2.200000	Un=21.371897	Hn=2276.142334	nju=106.501656
beta=2.300000	Un=21.334610	Hn=2275.711426	nju=106.667587
beta=2.400000	Un=21.296284	Hn=2275.253662	nju=106.838058
beta=2.500000	Un=21.256989	Hn=2274.770020	nju=107.012810
beta=2.600000	Un=21.216797	Hn=2274.260498	nju=107.191513
beta=2.700000	Un=21.175779	Hn=2273.725830	nju=107.373894
beta=2.799999	Un=21.134008	Hn=2273.166992	nju=107.559669
beta=2.899999	Un=21.091560	Hn=2272.585205	nju=107.748558
beta=2.999999	Un=21.048500	Hn=2271.981201	nju=107.940292
beta=3.099999	Un=21.004892	Hn=2271.355957	nju=108.134613
beta=3.199999	Un=20.960819	Hn=2270.711426	nju=108.331238
beta=3.299999	Un=20.916330	Hn=2270.048340	nju=108.529953
beta=3.399999	Un=20.871498	Hn=2269.368164	nju=108.730484
beta=3.499999	Un=20.826380	Hn=2268.672363	nju=108.932632
beta=3.599999	Un=20.781031	Hn=2267.962646	nju=109.136200
beta=3.699999	Un=20.735514	Hn=2267.239746	nju=109.340904
beta=3.799999	Un=20.689871	Hn=2266.505615	nju=109.546631
beta=3.899998	Un=20.644157	Hn=2265.761475	nju=109.753159
beta=3.999998	Un=20.598421	Hn=2265.008545	nju=109.960297

ДОДАТОК Г

COR1.DAN

```
1 0.85 0.7 0.55 0.4 0.2 0.1 0.02 0.005 0 0.02 0.07 0.12 0.1 0.22 0.2 0.08 0 -0.18 -  
0.38  
-0.4 -0.42 -0.48 -0.52 -0.69  
-0.7 -0.68 -0.48 -0.32 -0.28 -0.24 -0.22 -0.21 -0.2 -0.19 -0.19 -0.2  
-0.22 -0.24 -0.28 -0.32 -0.37 -0.38 -0.42 -0.41 -0.4 -0.38 -0.37 -0.32 -0.28 -0.22  
-0.21 -0.2 -0.22 -0.23 -0.25 -0.26 -0.25 -0.23 -0.22 -0.21 -0.2  
-0.17 -0.12 -0.02 0.1 0.2 0.22 0.28 0.33 0.32 0.31 0.3 0.29 0.25 0.23 0.05 0.03
```

COR2.DAN

```
1 0.875 0.75 0.625 0.5 0.4 0.25 0.18 0.08 -0.02 -0.12 -0.21 -0.27 -0.3 -0.32 -0.35  
-0.38 -0.39 -0.41 -0.42 -0.41 -0.41 -0.4 -0.38 -0.36 -0.32 -0.31 -0.28 -0.21 -0.2 -  
0.12 -0.08 0 0.02 0.1 0.12  
0.14 0.18 0.2 0.22 0.23 0.24 0.23 0.22 0.21 0.2 0.39 0.38 0.28 0.15 0.13 0.1 0.08  
0.0
```

COR3.DAN

```
1 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.2 -0.2 -0.27 -0.32 -0.35 -0.36 -0.38  
-0.39 -0.4  
-0.41 -0.41 -0.4 -0.38 -0.36 -0.33 -0.32 -0.3 -0.27 -0.22 -0.2  
-0.18 -0.12 -0.1 -0.08 -0.05 -0.02 0 0.02 0.05 0.08 0.18 0.22 0.32 0.4 0.46  
0.52 0.55 0.48 0.4 0.32 0.22 0.12 0.05 -0.05 -0.1 -0.12 0
```